GIORNALE

DELLA

REALE ACCADEMIA DI MEDICINA

DI TORINO

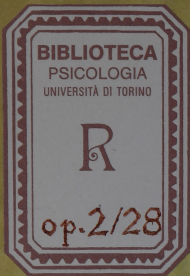
Pubblicato per cura dell'Ufficio di Presidenza

La respirazione dei cani e la polipnea termica sulla vetta del Monte Rosa. Analisi dei gas del sangue dopo un lungo soggiorno a 4560 metri di altitudine.

Per A. MOSSO e G. MARRO. — *Comunicazione fatta alla R. Accademia di Medicina di Torino nella Seduta del* 15 *gennaio* 1904.

ESTRATTO

dal volume X, anno LXVII, fascicolo 1.

TORINO
UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE
28 - Corso Raffaello - 28
1904

La respirazione dei cani e la polipnea termica sulla vetta del Monte Rosa. Analisi dei gas del sangue dopo un lungo soggiorno a 4560 metri di altitudine.

Per A. MOSSO e G. MARRO. — *Comunicazione fatta alla R. Accademia di Medicina di Torino nella Seduta del* 15 *gennaio* 1904.

Lo studio della respirazione a grandi altezze presenta difficoltà maggiori nei cani che negli uomini; per rimediare in parte agli inconvenienti di simili ricerche, adoperammo dei cani molto mansueti, che erano abituati a vivere con noi e lasciarsi applicare gli strumenti registratori.

In generale i cani resistono meglio dell'uomo alle forti depressioni barometriche. Questo lo vedemmo anche in questi cani che abbiamo condotto con noi sul Monte Rosa e che sottoponemmo a delle esperienze preliminari nella campana pneumatica.

Volendo conoscere la resistenza dei cani alla depressione barometrica, si andava rapidamente sino dalla prima volta ad una rarefazione dell'aria, la quale corrispondeva ad una altezza di 10.000 metri; fermandoci cioè, quando il manometro della campana pneumatica segnava una pressione barometrica di 200 mm. Tale depressione corrisponde all'altitudine alla quale giunsero nell'ultima ascensione Berson e Süring coll'aereostato *Preussen* a Berlino; nella quale ascensione perdettero la coscienza, malgrado le provviste di ossigeno che avevano portato con loro (1).

Il maggior numero dei cani (eccettuati quelli molto giovani) arrivano alla depressione barometrica di 200 mm. senza presentare alcun malessere grave; senza che si alteri molto la loro intelligenza e che compaia il vomito; alcuni si reggono sulle gambe e fanno attenzione a quanto succede intorno a loro. Il respiro diviene superficiale e si rallenta alquanto; i cani fanno di quando

---

(1) *Ergebnisse der Arbeiten am Aëronautischen Observatorium in den Jahren* 1900 *und* 1901, pag. 229. Berlin 1902.

in quando una inspirazione più profonda, e compare presto l'espirazione attiva con un movimento di contrazione dei muscoli addominali alla fine d'ogni inspirazione. Altri presentano dopo alcuni minuti una respirazione affannosa, cadono accasciati e sonnolenti.

Se si raggiunge la depressione di 200 mm. in 10, o 12 minuti, e dopo si mantiene costante tale pressione, lo stato degli animali presenta un peggioramento continuo. Questo non dipende dalla mancanza d'aria, perchè sotto la campana pneumatica da noi adoperata la corrente è forte, essendo due le pompe che funzionano; ogni colpo dello stantuffo estrae due litri d'aria, e il motore elettrico produce con entrambe 64 colpi al minuto. Ciò malgrado il respiro diviene più superficiale e più lento: in media è ridotto a sole 20 respirazioni al minuto, interrompendosi tratto tratto con una inspirazione più profonda; l'animale trovasi in uno stato di grande apatia e di depressione delle forze, e diviene sonnolento.

Tutte le condizioni esterne essendo invariate, bisogna supporre che questo mutamento dipenda da cause interne. La spiegazione che a noi sembra meglio probabile, è quella di supporre che nel primo quarto d'ora l'animale supplisca alla rarefazione dell'aria e alla deficienza dell'ossigeno con le provviste di ossigeno contenute nei tessuti del suo corpo e nel sangue, le quali vanno consumandosi rapidamente. Si può anche supporre che i mutamenti succeduti nel sangue, specialmente quelli che producono una diminuzione dell'alcalinità, crescano di intensità, e che l'avvelenamento per questi prodotti diventi successivamente più grave.

Forse tutti due questi fatti si verificano, tanto nei cani, quanto nell'uomo, durante le rapide depressioni barometriche.

Che tali provviste di ossigeno intracellulare esistano, lo ha dimostrato prima di tutti il Pflüger quando vide che le rane producono dell'anidride carbonica anche quando vengono messe in un ambiente privo di ossigeno, e recentemente Rosenthal (1) mostrò che l'ossigeno può accumularsi nell'organismo. Sarebbe quest'ossigeno intramolecolare, o intracellulare, come lo chiamò il Rosenthal, quello che gli animali consumano quando vengono messi nell'aria

---

(1) Rosenthal, *Untersuchungen ü. d. respiratorischen Stoffwechsel* (*Archiv f. Physiologie*, 1902, *Suppl.*, Band 293).

rarefatta a 200 mm., ed esaurite tali provviste peggiorano le condizioni del sistema nervoso.

Dopo, continuando a rimanere costante la depressione barometrica a 200 mm., i cani presentano un sensibile miglioramento, sollevano la testa e diventano meno sonnolenti.

Per studiare i mutamenti del respiro prodotto dalla depressione barometrica, il metodo più esatto sarebbe stato di adoperare il contatore e le valvole, come fece uno di noi per lo studio

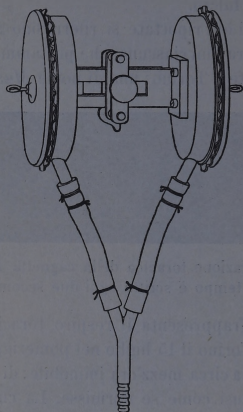



Fig. 1. — Pneumografo doppio.

della « respirazione dell'uomo sulle alte montagne nel 1884 » (1); ma questo metodo (che pure non è scevro di inconvenienti) presenta delle gravi difficoltà specialmente nei cani. La frequenza e la profondità del respiro si possono esaminare meglio, ma presentano nella veglia tali variazioni, che abbiamo dovuto limitarci a scrivere il ritmo e la forma del respiro durante il sonno.

Adoperammo per questo scopo il pneumografo doppio rappresentato dalla fig. 1, il quale è fatto per mezzo di due timpani

(1) A. Mosso, *Atti della R. Accad. di Medicina di Torino*, vol. VI, pag. 235, 1884.

a membrana elastica riuniti insieme da una pinzetta a vite. Un nastro inestensibile largo 2 o 3 centimetri, diviso in due pezzi per mezzo di una fibbia, portava all'estremità due uncini che si attaccavano ai ganci fissi sulla membrana elastica di ciascun pneumografo. Per mezzo di un tubo a forchetta i due timpani si fanno comunicare con un timpano registratore a leva. Per scrivere dei tracciati paragonabili fra loro avemmo l'avvertenza di servirci sempre della stessa leva, egualmente lunga e colla medesima distanza dal fulcro.

Le osservazioni qui riportate si riferiscono a due cagnette di circa cinque chilogrammi ciascuna, che portammo sul Monte Rosa, dopo averle studiate a Torino: una di nome *Musa* e l'altra *Diana*.

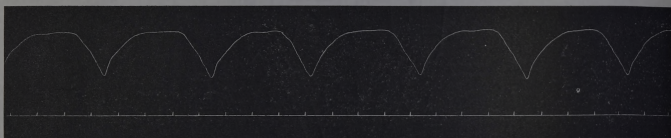



Fig. 2. — Respirazione toracica della cagnetta *Diana* a Torino.
(Il tempo è scritto ogni due secondi.

Il tracciato 2 rappresenta il respiro toracico della cagnetta *Diana*, scritto a Torino il 15 luglio nel pomeriggio, mentre riposa sopra un cuscino da circa mezz'ora immobile: di quando in quando tiene gli occhi chiusi come se dormisse. La curva del respiro è regolare ed uniforme da circa 10 minuti. Il tempo segnato sotto il tracciato in secondi, mostra come la cagnetta faccia circa 16 respirazioni al minuto.

La sera del 19 agosto, dopo sette giorni che questa cagnetta si trovava nella capanna « Regina Margherita », torniamo a scrivere il respiro. I cani si tenevano in una stanza vicina alla cucina dove la temperatura di giorno era pochi gradi superiore a zero, essi dormivano sul fieno ed erano nutriti con pane e carne. Per fare le osservazioni sul respiro li prendevamo con noi nella cucina dove la temperatura variava da 16° a 20° come a Torino. Messa la cagnetta sopra alcuni asciugamani piegati, tenendola immobile sopra una panca, si scriveva collo stesso pneumografo il respiro toracico.

La fig. 3 rappresenta una di queste esperienze. Nella prima linea in basso il respiro ha la medesima frequenza che aveva a Torino, ma molto meno profondo. Per non recare troppa molestia ai cani, applicavo loro solo il pneumografo sul torace, e scrivemmo in altri giorni la respirazione addominale. Qui ci limitiamo a riferire i tracciati della respirazione toracica. Si vede dal raffronto delle fig. 2 e 3 che la cagnetta *Diana* respira meno

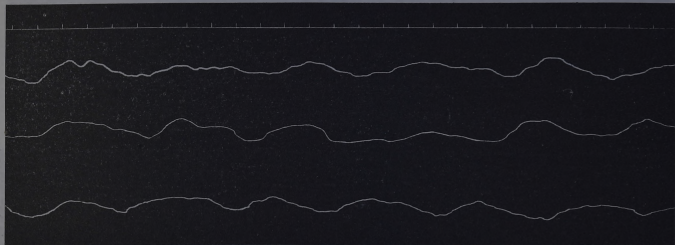



Fig. 3. — Respirazione toracica della cagnetta *Diana* nella capanna " Regina Margherita " (4560 m.).

attivamente sul Monte Rosa, ed essa introduce nell'unità del tempo un volume minore d'aria nei polmoni. La sicurezza di questo fatto risulta dal raffronto dei tracciati che scrivemmo applicando il pneumografo sull'addome a Torino e sul Monte Rosa, che non riproduciamo per brevità, essendo noto che nel sonno la forza dei moti del diaframma tende piuttosto a diminuire che a crescere.

Nella seconda linea il sonno è divenuto più profondo e la frequenza del respiro diminuisce. Nella terza linea la frequenza del respiro è solo più di 12 al minuto, mentre era circa 16 a Torino. La quarta linea segna il tempo in secondi.

Un'altra cagnetta, per nome *Rosa*, che era stata un anno prima alla capanna « Regina Margherita » e che vi conducemmo quest'anno per la seconda volta, presentava nella veglia e durante il riposo una frequenza del respiro di soli 10 movimenti al minuto, e mai a Torino si osservò una simile lentezza del respiro, anche nel sonno.

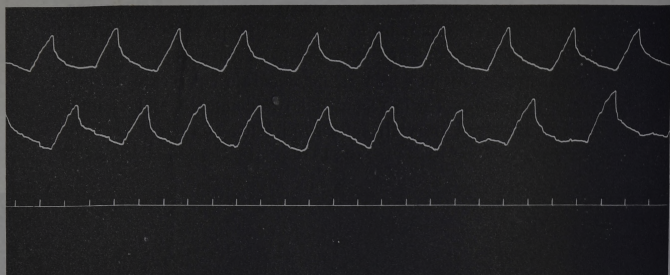



Fig. 4. — Respirazione toracica della cagnetta *Musa* a Torino.

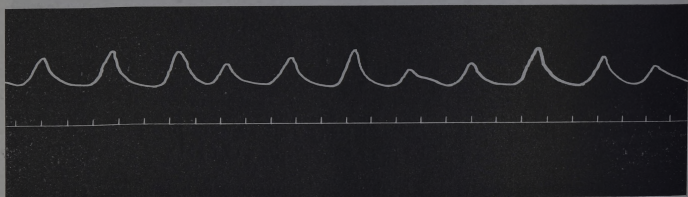



Fig. 5. — Respirazione toracica della cagnetta *Musa* nella capanna " Regina Margherita " (4560 m.).

Da queste prime osservazioni risulta, come uno di noi aveva già mostrato nell'uomo, che nei cani la rarefazione dell'aria sulle Alpi, non produce un aumento della frequenza e della profondità del respiro ma piuttosto una diminuzione.

Nel principio di luglio, pochi giorni prima di partire, scriviamo a Torino il respiro della cagnetta *Musa*. Temperatura 19°.

La fig. 4 rappresenta il tracciato della respirazione toracica mentre la cagnetta è profondamente tranquilla e pare che dorma. Nella linea inferiore è scritto il tempo in secondi.

Il giorno 20 agosto, otto giorni dopo che la cagnetta era giunta alla capanna « Regina Margherita », torniamo a scrivere il respiro toracico collo stesso apparecchio nelle condizioni sopradette.

Contando prima la frequenza del respiro troviamo essere minore che non fosse a Torino. Invece di 20, o 22, respirazioni al minuto, come faceva nella pianura, ne fa solo 18 sul Monte Rosa.

In questo tracciato 5 la diminuzione del respiro è meno evidente che non fosse al tracciato 3. Se la frequenza rimase invariata, i movimenti respiratori sono meno profondi e presentano una certa irregolarità simile a quella che uno di noi ha studiato nell'uomo a grandi altezze.

Essendo diminuita la ventilazione dei polmoni in tutti tre i cani che portammo alla capanna « Regina Margherita » all'altezza di 4560 m., in condizioni simili a quelle nelle quali abbiamo registrato il respiro a Torino, si presenta spontanea la conclusione, che a Torino questi cani respiravano una quantità d'aria superiore ai loro bisogni chimici.

Siccome sul Monte Rosa questi tre cani erano vispi ed allegri, mangiavano con appetito e stavano bene, non abbiamo ragione di supporre che fossero cambiate le condizioni del loro metabolismo: se essi respiravano meno, se tanto la profondità delle inspirazioni, quanto la frequenza del respiro, erano diminuite, possiamo attribuire questa minore attività dei centri respiratori alla diminuzione dell'anidride carbonica nel sangue, dimostrata per mezzo delle analisi dei gas, o all'alcalinità minore del sangue, trovata dal prof. Galeotti nelle esperienze fatte su questi medesimi cani, della quale parleremo fra poco.

Analisi dei gas del sangue arterioso nei cani a 4560 metri.

Per conoscere quale fosse lo stato del sangue arterioso abbiamo fatto le seguenti analisi coll'apparecchio di Barcroft e Haldane (1).

Le analisi del sangue di questi cani, come le osservazioni sulla polipnea alla pressione di 430 mm., vennero fatte dopo una settimana di permanenza nella capanna « Regina Margherita ».

Per l'acido carbonico riportiamo solo il risultato della prima analisi, perchè durante le altre esperienze ci siamo accorti che per effetto del cattivo tiraggio della stufa, l'aria ricca in CO_2,

---

(1) A. Mosso e G. Marro, *Analyse des gaz du sang à différentes pressions barométriques* (*Archives italiennes de Biologie*, tome XXXIX, pag. 395, 1903).

faceva variare notevolmente da un istante all'altro il tenore in acido carbonico della soluzione ammoniacale.

Cagnetta *Musa*, peso gr. 4800.
(Capanna « Regina Margherita », 21 agosto 1903, ore 9).
H = 438 mm. t = 12°, 7.

Sangue preso dalla carotide destra; colore rosso scuro.

$O_2 = 22,47$ % $CO_2 = 38,74$ %.

Cagnetta *Diana*, peso gr. 5000, stesso giorno, ore 14.
Carotide destra, sangue rosso.

$O_2 = 24,41$ %.

Il 27 agosto, sei giorni più tardi, partimmo dalla capanna « Regina Margherita ».

Arrivati a Torino, tre giorni dopo si fece nuovamente l'esame del sangue.

Torino, 1° settembre 1903, ore 11: H = 749 mm. t = 21°.

Musa: sangue preso dalla carotide sinistra color rosso; l'animale si è agitato durante l'operazione:

$O_2 = 22,32$ $CO_2 = 41,69$ %.

Diana: ore 15 t = 22°.

Carotide sinistra, sangue rosso; l'animale si mantenne tranquillo:

$O_2 = 24,23$ % $CO_2 = 38,40$ %.

Le esperienze preliminari fatte a Torino nella campana pneumatica e il lungo soggiorno nella capanna « Regina Margherita » ci spiegano perchè le analisi dei gas del sangue diedero risultati diversi da quelli che ottenemmo nell'anno precedente. La quantità di ossigeno che trovammo nel sangue arterioso di questi cani è maggiore, ed è più grande anche la quantità di anidride carbonica. Nel 1902 trovammo infatti in una cagnetta n. 1 alla capanna « Regina Margherita » l'8 agosto:

$O_2 = 11,21$ % $CO_2 = 36,22$.

Cagnetta n. 2:

$O_2 = 17,69$ % $CO_2 = 29,64$ %
$O_2 = 17,55$ % $CO_2 = 30,14$ %.

I risultati di queste analisi del sangue ci permettono di conchiudere che un prolungato soggiorno nell'aria rarefatta modifica la condizione del sangue. Prima di giungere ad un'affermazione sicura occorrono altre esperienze; e questo è tanto più necessario in quanto che le analisi del sangue arterioso di due scimmie che portammo alla capanna « Regina Margherita » non diedero eguali risultati, come sarà riferito in una prossima nota, sebbene anche esse siansi fermate un tempo uguale, a 4560 metri.

Questa differenza può spiegarsi col fatto che i cani sono più resistenti delle scimmie alla depressione barometrica, o colla circostanza che i cani stettero sempre al freddo, mentre che le scimmie furono tenute al caldo in cucina e passavano la notte chiuse nelle loro casse.

Intorno all'influenza che la temperatura esercita sui gas del sangue, non esistono ancora delle ricerche, ed è questo un argomento degno di studio, perchè riteniamo come molto probabile che per l'azione del freddo si modifichi la quantità di emoglobina nei corpuscoli sanguigni.

L'esame del sangue di queste due cagnette venne completato dal prof. Galeotti (1) che ne determinava l'alcalinità: i risultati che egli ottenne li riassumiamo nella seguente tabella, dove le cifre rappresentano l'alcalinità di 100 cc. di sangue misurata in mgr. di NaOH.

	A Torino	Nella capanna Regina Margherita	Diminuzione dell'alcalinità %
Cagna *Musa*	358	227	36,60
» *Diana*	443	232	47,85

Questa diminuzione dell'alcalinità del sangue dal 36 al 47 % mentre che le analisi dei gas nel sangue arterioso diedero quasi nessuna differenza collo stato del sangue nella pianura, mostrano quanto siano complessi i fenomeni che noi studiamo trasportando gli animali a grandi altezze sulle Alpi.

La diminuzione osservata nel respiro, se non possiamo attribuirla all'anossiemia, dobbiamo attribuirla probabilmente alla diminuzione dell'anidride carbonica, o alla diminuzione dell'alca-

(1) Galeotti, *Le variazioni dell'alcalinità del sangue sulla vetta del Monte Rosa* (*Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, pag. 649, 20 dicembre 1903).

linità osservata nel sangue; ma ogni conclusione è prematura fino a che per mezzo di nuove analisi non siasi stabilito meglio quali sono i mutamenti che subiscono i gas del sangue e l'alcalinità di questo liquido nell'aria rarefatta.

Contemporaneamente alle nostre analisi dei gas il dott. Carlo Foà, faceva l'esame dell'emoglobina e dei corpuscoli rossi nel sangue estratto dalla carotide; ed era questo il medesimo sangue che serviva per le analisi dei gas. Il giorno 21 agosto, come risulta dalla nota « Sui mutamenti del sangue sull'alta montagna » (1) del dottore C. Foà nel sangue estratto dalla carotide della cagnetta *Diana* venne trovato un aumento dei corpuscoli rossi da 4.798.000 a 5.120.000, e per l'emoglobina dal 14,79 al 15,0 %.

Nel sangue estratto dalla carotide della cagnetta *Musa* i corpuscoli erano saliti da 5.000.000 a 5.892.000 e l'emoglobina da 15,26 % a 15,32 %.

Malgrado questo aumento di corpuscoli rossi e di emoglobina, non vennero trovate modificazioni corrispondenti nella quantità di ossigeno del sangue.

Questa cooperazione dei vari sperimentatori che studiarono gli stessi animali, ricercando per vie diverse e con metodi speciali i mutamenti del sangue, mostrano quale fosse il concetto che ci ha guidati e segnano la traccia che dovranno seguire gli altri per giungere a qualche decisione sicura. Le differenze da noi osservate superano certamente gli errori inevitabili nei vari metodi adoperati, ma, eccettuata l'alcalinità, le differenze osservate sono così poco pronunciate, da richiedere una grande circospezione in chi voglia proseguirle. Comunque sia, queste esperienze sono un primo tentativo fatto coll'applicazione dei metodi esatti per l'indagine nello studio dei mutamenti morfologici e chimici che il soggiorno prolungato sulle Alpi produce nel sangue.

Il metodo da noi adottato coll'apparecchio di Barcroft e Haldane segna un progresso nella tecnica, perchè si possono fare le analisi del sangue arterioso con un solo centimetro cubico di sangue e si può adoperare parecchie volte lo stesso animale senza alterare le pareti delle arterie in modo che continuando a circo-

---

(1) Carlo Foà, *Atti della R. Accademia dei Lincei*, vol. XII, fasc. 9, pag. 404, 1903.

lare in esso il sangue possono servire per parecchie analisi successive. Per avvicinarsi più all'uomo portammo con noi due scimmie sul Monte Rosa e non abbiamo perduto la speranza che si possano fare sul Monte Rosa anche delle analisi sul sangue arterioso dell'uomo.

Polipnea termica.

Per conoscere meglio i rapporti che passano fra la funzione del respiro nell'aria rarefatta e il contenuto dei gas nel sangue ci decidemmo a fare in questa spedizione una serie di ricerche sulla polipnea, e diremo subito che esse diedero dei risultati contrari alle nostre previsioni.

Secondo le esperienze di Carlo Richet era da aspettarsi che sul Monte Rosa non si sarebbe avuto la polipnea termica, ed invece mettendo i cani vicino alla stufa, quando la temperatura nella cucina superava i 20°, osservammo un fortissimo aumento nel ritmo dei moti respiratori.

Ch. Richet cominciò nel 1884 (1) le sue ricerche sulla polipnea termica e i suoi studi lo condussero ad ammettere una nuova funzione del bulbo rachideo (2) dimostrando che la polipnea produce un raffreddamento dei cani per la eliminazione del vapore acqueo, e che l'aumento della frequenza dei moti respiratori che giunge fino a 300 o 400 per minuto, manca qualora i cani non si trovino in stato di apnea.

Le conclusioni alle quali era giunto Richet avevano una grande importanza per noi, perchè con esse credevamo poter decidere, se all'altezza di 4560 metri, i cani trovano ancora nell'aria una quantità sufficiente di ossigeno per diventare apnoici; e per decidere se la diminuzione dell'anidride carbonica da noi osservata nel sangue a grandi altezze, aveva una qualche influenza sulla polipnea termica.

Il tracciato 6 rappresenta una esperienza che facemmo sulla cagnetta *Musa* il 20 agosto nella capanna « Regina Margherita ». Dopo che la stufa nella cucina era rimasta accesa tutto il giorno e la stanza aveva una temperatura di 21°, aprimmo la bocca della stufa in modo che l'irradiazione riscaldasse bene la cagnetta che

(1) Ch. Richet, *Comptes rendus*, t. XCIX, pag. 279.

(2) *Travaux du Laboratoire de Charles Richet*, t. I, pag. 431, 1893.

uno di noi teneva sopra di un cuscino pure riscaldato: applicato il pneumografo doppio intorno al torace si scriveva il respiro. Il calore che dava la bocca della stufa era così forte e la cagnetta così vicina che, tenendo le mani sul dorso dell'animale, perchè non si muovesse, provavasi una sensazione molesta. Il respiro crebbe poco per volta e raggiunse la frequenza di 320 respirazioni al minuto, come si vede nel tracciato 6, dove nella linea

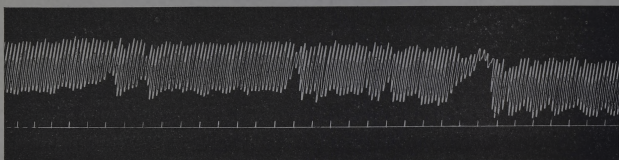



Fig. 6. — Respirazione toracica con polipnea termica scritta sulla cagnetta *Musa* nella capanna " Regina Margherita „. Il tempo è segnato in secondi.

inferiore fu scritto il tempo in secondi. La penna scende nella inspirazione e si alza nella espirazione, così che possiamo considerare la curva come rovesciata, in confronto delle precedenti. L'abbassarsi dell'intero tracciato verso la linea del tempo, non credo debba attribuirsi ad un aumento di tonicità, ma è forse prodotto dalla dilatazione dell'aria nei timpani del pneumografo per effetto del calore.

La cagnetta teneva la bocca alquanto aperta e la lingua umida di saliva aveva un colore rosso normale. Di quando in quando, come si vede nel presente tracciato, succedevano delle interruzioni, o perchè la cagnetta si muoveva, o perchè facesse qualche moto di deglutizione.

Nel respiro, come vedesi verso la fine del tracciato, si osserva una tendenza alla produzione dei periodi, specialmente nella linea inferiore che segna la posizione del torace alla fine della inspirazione.

Un'altra esperienza fatta sulla cagnetta *Rosa* diede i medesimi risultati.

Per eliminare il dubbio che i cani da noi portati sul Monte Rosa presentassero la polipnea termica in quell'altezza, perchè

erano stati poco per volta allenati alle grandi depressioni barometriche, arrivati a Torino facemmo delle esperienze sopra dei cani giovani che erano nati nel laboratorio e su altri cani che certo non erano mai stati sulle montagne ed avevano il sangue come è normalmente nella pianura.

9 gennaio 1904. Pressione barometrica 744 (1). Prendiamo due cani nati nel laboratorio e slattati da pochi giorni, uno maschio e l'altro femmina, e li mettiamo sotto una grande campana di vetro della capacità di 50 litri, la medesima che ha servito per le esperienze descritte in principio di questa nota. Per scaldare l'aria e gli animali adoperiamo un vaso di ferro largo 35 cm. e profondo 10, pieno di sabbia calda, sulla quale si stendono alcuni pannolini pure caldi. Un serpentino di rame fatto da un tubo lungo circa 3 metri avvolto a spira serve al passaggio dell'aria aspirata dalla pompa che penetra nella campana. Con una lampada Bunsen si riscalda dall'esterno questo serpentino di rame e si ottiene la temperatura dell'aria che occorre per promuovere la polipnea nei cani. Un termometro messo nella campana segnava la temperatura dell'aria, ed un manometro a mercurio la depressione barometrica che si voleva ottenere.

Ore 10	Temp. 20°	Cane femmina	Resp. 15 in 30″
»	»	» maschio	» 12 »
Ore 10,25	Temp. 32°	Cane femmina	Resp. 88 in 30″
»	»	» maschio	» 82 »

(1) Fu questa l'ultima esperienza che venne fatta dal dott. Giacomo Marro. In questo giorno dovetti partire per Roma; lo lasciai di buon umore ed allegro; dopo due giorni, l'11 gennaio, mi telegrafarono che lo si era trovato morto nel letto. L'autopsia e l'analisi del sangue mostrarono che morì per ossido di carbonio: ma fu certo un accidente involontario che rapì alla scienza questo giovane pieno di speranze. Non si è potuto decidere se fu il calorifero vicino, o la stufa che fu accesa nella sua camera, che abbiano sviluppato l'ossido di carbonio che produsse la morte. Feci all'Accademia di Medicina la commemorazione del dott. Giacomo Marro al quale ero legato da viva amicizia e che per due volte mi aveva accompagnato nelle spedizioni al Monte Rosa. Nel rendere un tributo d'affetto alla sua memoria, sento il dovere di esprimere qui la gratitudine profonda che nutro per un compagno di studio che tanto ha giovato alle mie ricerche colla sua operosità, col suo talento e colla sua abnegazione esemplare.

Incominciano a manifestarsi dei periodi di 20 o 30 secondi, nei quali il respiro è più rapido, durante le pause il respiro è 18 in 30″ nella femmina e 37 in 30″ nel maschio. I cani dormono tranquillamente.

Ore 10,37 Temp. 31°,5 Cane femmina Resp. 96 in 30″
» » » maschio » 105 »

Fin qui abbiamo avuto la precauzione di far circolare l'aria sotto la campana per mezzo di un soffietto, perchè non si accumulasse l'anidride carbonica: ora mettiamo in moto le pompe per produrre la rarefazione dell'aria. I cani si svegliano. Quando siamo alla pressione di 430 mm.

Ore 10,52 Temp. 34° Cane femmina Resp. 93 in 30″
» » » maschio » 90 »

Esiste la polipnea senza periodi. I due cani sono sonnolenti.

Ore 10,57 Temp. 32° Cane femmina Resp. 90 in 30″
» » » maschio » 102 »

Diminuiamo ancora la pressione, e da quella media del Monte Rosa si sale a 320 mm. corrispondenti ad un'altezza di 6888 m. che è quella raggiunta da Conway sul *Pioneer Peak* con Zurbriggen. La polipnea cessa per qualche minuto mentre gli animali sono inquieti e si agitano: ma ritornati tranquilli e fermi, torna a diventare frequente il respiro, e si contano circa 200 respirazioni al minuto.

Ore 11,7 Temp. 33° Cane femmina Resp. 98 in 30″
» » » maschio » 65 »

La respirazione continua rapidissima con brevi interruzioni, come succede normalmente.

È dunque dimostrato che dei cani giovani che non sono mai usciti dal laboratorio, possono presentare la polipnea termica ad una depressione barometrica che corrisponde all'altezza di 6888 metri.

Tornati lentamente alla pressione barometrica ordinaria, i cani si addormentano.

Ore 11,17 Temp. 33° Cane femmina Resp. 45 in 30″
» » » maschio » 40 »
Ore 11,22 Temp. 31° Cane femmina Resp. 75 in 30″
» » » maschio » 81 »

Il giorno 15 gennaio faccio un'altra esperienza simile sopra un piccolo cane della stessa età dei due precedenti. La pressione barometrica è 740 mm. Dopo aver osservato che alla pressione ordinaria ed alla temperatura di 33° mentre che il cane sta sulla sabbia calda sotto la campana, fa 144 movimenti respiratori al minuto, incominciamo a far agire le pompe, e si sale lentamente fino alla pressione di 340 mm. che corrispondono all'altitudine di 6405 metri. Il respiro, dopo una breve pausa nella quale il cane era irrequieto, torna a diventare così celere che si conta con stento, tiene la bocca aperta, ed i movimenti sono molto superficiali. Quando riusciamo a contarli sono 210 a 220 al minuto. Dopo che il cane rimase circa 20 minuti in questa depressione torniamo alla pressione ordinaria.

Temperatura 34° Respirazioni 180 al minuto secondo; il cane è sonnolento.

Temperatura 35° Respirazioni 210, continua a dormire.

Avendo ripetuto queste esperienze su altri cani col medesimo risultato, volli vedere se per far scomparire la polipnea era più attiva l'anidride carbonica, o la mancanza dell'ossigeno. In questi cani, che non erano allenati, noi sapevamo, per le esperienze precedenti (1) fatte colle analisi dei gas del sangue, che vi è una diminuzione notevole dell'ossigeno e dell'anidride carbonica.

Non abbiamo ancora fatto delle analisi del sangue arterioso nella polipnea termica che si produce durante la depressione barometrica. Nella capanna « Regina Margherita » è facile fare simili esperienze. Ma intanto vediamo come una rarefazione dell'aria che corrisponde a quella delle più alte montagne, non basta per produrre l'anossiemia, o per esaurire le provviste di ossigeno dell'organismo, e che i cani possono avere ancora la polipnea, la quale, secondo Richet, si produce solo quando l'animale non ha bisogno di respirare. Il fatto che possiamo diminuire di oltre mezza atmosfera la pressione barometrica, senza che cessi la polipnea termica è un fenomeno che merita un esame più diligente. Richet aveva già accennato alla necessità di fare delle esperienze colla diminuzione dell'ossigeno, e noi abbiamo voluto

---

(1) A. Mosso e G. Marro, *Arch. italiennes de Biologie*, t. XXXIX, pagina 402.

eseguirle per vedere se la diminuzione dell'ossigeno potesse da sola produrre un effetto diverso da quello della rarefazione dell'aria. Adoperammo per tale intento l'idrogeno col quale si dilungava e diluiva l'ossigeno, escludendo a questo modo l'azione meccanica che si ottiene colla depressione barometrica.

Riferisco una di queste esperienze fatta il 15 gennaio 1904.

Alle ore 2,47 mettiamo sotto la campana un piccolo cane del peso di 4500 grammi, col vaso di ferro pieno di sabbia calda sul fondo della campana, ricoprendo la sabbia con dei pannolini caldi. Un termometro sospeso ad un'asticella segna la temperatura dell'aria vicino alle pareti della campana. L'animale è molto tranquillo. Quando la temperatura raggiunge i 26° cominciano i primi periodi di respirazione più frequente.

Ore 13. La polipnea è nettamente pronunciata. Temp. 30°, il cane fa 180 respirazioni al minuto e qualche volta contiamo 220 e 230 al minuto. A questo punto facciamo passare l'idrogeno.

Avevamo un cilindro pieno di idrogeno compresso a 5 atmosfere, feci passare i 125 litri che conteneva questo cilindro senza effetto. La polipnea continuò con dei brevi periodi d'interruzione. La temperatura rimase costante a 30°.

Preso un campione d'aria e fatta l'analisi, essa contiene 10,70 % di ossigeno. Si può dunque dare la metà di ossigeno ad un cane senza che cessi la polipnea termica.

I cani sono invece sensibilissimi per una piccola quantità di anidride carbonica, la quale si trovi nell'aria respirata. Richet aveva già studiata con esattezza l'asfissia, noi volemmo fare un passo più innanzi, determinando la quantità minima di anidride carbonica la quale basta per sospendere la polipnea.

15 gennaio 1904. Una cagnetta del peso di 4550 grammi viene messa sotto la grande campana di vetro. Un serpentino di rame serve per riscaldare l'aria che penetra sotto la campana, e l'animale riposa sopra il recipiente pieno di sabbia calda. Questa cagnetta faceva 25 respirazioni per minuto, mentre era tranquilla, quando la temperatura toccò i 30° faceva circa 250 respirazioni al minuto, tenendo la bocca aperta e la lingua pendente umida di saliva.

Cominciamo la rarefazione dell'aria per mezzo di due pompe messe in azione da un motore elettrico e si sale rapidamente in

15 minuti sino ad una rarefazione che corrisponde a 6400 m. di altitudine. La pressione barometrica era 740 e si produce una depressione di 400 mm., così che la pressione barometrica sotto la campana è solo di 340 mm. Il respiro, dopo alcune brevi interruzioni, continua ad essere frequentissimo, così che appena si può contare. Manteniamo per venti minuti questa depressione senza che cessi, o si modifichi la polipnea termica.

Per misurare la quantità di anidride carbonica riempivamo due boccie che avevano un tubo sul fondo e stavano in comunicazione per mezzo di un tubo di gomma. Esse contenevano una soluzione satura di cloruro sodico, e quella piena di anidride carbonica era graduata, così che si poteva leggere facilmente la quantità di anidride carbonica che passava nella campana; ma sempre facemmo il controllo coll'analisi dell'aria presa nella campana dove stava l'animale.

17 gennaio 1904. Press. 741 mm. Cagnetta del peso di 4550 gr.

Ore 10,50. Messa sotto la grande campana nel solito modo, compare la polipnea termica alla temperatura esterna di 28°. L'animale tiene la bocca aperta e fa 220 movimenti respiratori al minuto, con periodi di respiro normale.

Ore 11,15. Fa 200 respirazioni senza più fermarsi. Facciamo passare 500 cc. di CO_2 sotto la campana di 50 litri, ciò che corrisponde all' 1 % di CO_2 nell' aria respirata; e cessa la polipnea. Fatta l'analisi dell'aria troviamo che essa contiene 1,03 % di CO_2.

Vedendo che i cani sono tanto sensibili all'azione dell'anidride carbonica, vogliamo provare, se quando l'aria è rarefatta occorre una quantità maggiore di anidride carbonica per produrre il medesimo effetto di arresto della polipnea.

Levata la campana per rinnovare l'aria, si produce nuovamente la polipnea, alla pressione ordinaria poi si mettono in moto le pompe, ed arriviamo fino a mezza atmosfera di depressione = 380 mm. La frequenza del respiro è 200 al minuto. Facciamo passare 400 cc. di CO_2 sotto la campana e non produce alcun effetto. La polipnea continua. Prendiamo un campione di aria per mezzo di due pipette piene di mercurio e comunicanti fra loro con un lungo tubo di gomma in modo da poter aspirare l'aria dalla campana malgrado la pressione di 380 mm. Fatta l'analisi dell'aria, troviamo che essa contiene 1,1 % di CO_2.

In un'altra esperienza fatta sul medesimo cane il 15 gennaio trovammo che anche solo 250 cc. di CO_2 fatti passare sotto la campana pneumatica di 50 litri bastano per far scomparire la polipnea. Dunque il 5 $^0/_{00}$ di CO_2 nell'aria inspirata sarebbe già sufficiente per impedire la polipnea. Intorno all'analisi di questi fatti, colle differenze che si osservano tra l'aria rarefatta e l'atmosfera alla pressione ordinaria per le stesse quantità di anidride carbonica, desideriamo fare ulteriori studi analizzando i gas del sangue.